



Blick in einen Trommeltrockner mit Flamme im Trommelinnenraum
View into a drum dryer with flame in the interior of the drum

Evaporative Cooling

Verdunstungs-Kühlung als Methode zur Senkung des Energieverbrauches bei der Trocknung von Sanden

Zusammenfassung: Sand ist einer der weltweit am meisten verwendeten Baustoffe. Er wird unter anderem zur Herstellung von Mörtel, Fliesenkleber, Putzen, Estrichen, welche als sogenannte „Ready Mix“-Produkte gehandelt werden, verwendet. Des Weiteren wird Sand zur Glasherstellung, besonders hochwertiger Quarzsand neuerdings als sogenannter „Frac Sand“ bei der Erdgasgewinnung und in vielen weiteren Industriezweigen benötigt. Das Trocknen der Sande ist notwendig, um z.B. nachfolgend mit hoher Trennschärfe in verschiedene Fraktionen sieben zu können. Eine Kühlung ist erforderlich, wenn die weiteren Prozessschritte dies erfordern oder wegen der nachfolgenden Zugabe von temperatur-empfindlichen Additiven sowie aus Lager- und Verpackungsgründen.

Evaporative cooling as a method for the reduction of the energy consumption on drying sand

Summary: Sand is one of the most widely used construction materials in the world. Among other products, it is used for the manufacture of mortar, tile cement, plaster and floor finishes, which are marketed as so-called “ready mix” products. In addition, sand is required for the manufacture of glass; particularly high-quality sand latterly in the form of so-called “frac sand” is used during natural gas extraction and in many other sectors of industry. It is necessary to dry the sand, e.g. so that it can be screened subsequently into different fractions with high selectivity. Cooling is necessary if required by the downstream process steps or due to the subsequent addition of temperature-sensitive additives, as well as for storage and packaging reasons.



Dr.-Ing. Mathias Trojosky studierte Apparate- und Anlagenbau an der TU Magdeburg und promovierte auf dem Gebiet der Wirbelschicht-Technik. Seit 1995 ist er für die Firma Allgaier tätig, zunächst als Vertriebsleiter. Heute ist er Prokurist und als Bereichsleiter für die Trocknungstechnik verantwortlich.



Roland Roller absolvierte eine Ausbildung zum Maschinebautechniker und war bei der Firma Mozer in den Bereichen Konstruktion und Vertrieb tätig. Seit 1994 ist er bei Allgaier im Vertrieb/Projektierung Trocknungstechnik sowie als Sales Manager tätig.



Michael Frey absolvierte ein duales Studium der Verfahrenstechnik an der DHBW Mosbach mit der Partnerfirma Allgaier Process Technology. Er erstellte die Studie „Energiesparendes Trocknen und Kühlen durch Evaporative Cooling“ im Rahmen seiner Bachelorarbeit 2013. Er ist bei der Firma Allgaier Process Technology im Bereich der Projektabwicklung Trocknungstechnik tätig.

Die Allgaier Process Technology GmbH (www.allgaier.de) ist mit den Trommeltrocknern System MOZER® Marktführer auf dem Gebiet der Sandtrocknung. Zum Einsatz kommen insbesondere zweischalige Apparate, bei denen die Trocknung im inneren Trommelrohr stattfindet, während die Kühlung im äußeren Rohr des gleichen Apparates ausgeführt wird. Neben der bewährten, äußerst robusten und preiswerten Trocken-Kühl-Trommel System TK, bei der die Kühlung des Trockengutes durch Umgebungsluft erfolgt, liefert Allgaier das System TK+, welches durch eine sogenannte Verdunstungskühlung („Evaporative Cooling“) zu einer sehr signifikanten Einsparung von Brennstoff und Elektroenergie beiträgt. Die etwas höheren Investitionskosten amortisieren sich durch die Energieeinsparung innerhalb kurzer Zeit.

In Zeiten steigender Energiepreise wird der effiziente Einsatz von Ressourcen zu einem immer wichtigeren Mittel, die Wirtschaftlichkeit und damit auch die Konkurrenzfähigkeit der Produktion zu steigern. Umweltschutz, nachhaltiges Wirtschaften und Energieeinsparung sind außerdem zu einem bedeutenden Anliegen der Gesellschaft geworden. Weil eine thermische Trocknung im Vergleich zu einer nur mechanischen Entwässerung bis zu zehn Mal mehr Energie benötigt, besteht ein besonderes Interesse daran, mit möglichst energieeffizienten Trocknungssystemen zu arbeiten. Da besonders in der Baustoffindustrie ein hoher Preisdruck auf die Produzenten bei

Allgaier Process Technology GmbH (www.allgaier.de) is a market leader in the area of sand drying with the drum dryer system MOZER®. Double-shell units in particular are used; here the drying takes place in the inner drum tube, while the cooling is undertaken in the outer tube on the same unit. Along with the proven, extremely robust and economical drying-cooling drum system TK in which the material to be dried is cooled by ambient air, Allgaier supplies the system TK+, which makes a very significant contribution to saving fuel and electrical energy by means of so-called evaporative cooling. The somewhat higher investment costs are amortised in a short time by the energy saving.

In times of increasing energy prices the efficient usage of resources is becoming an increasingly important method of increasing cost-effectiveness and with it also the competitiveness of production. The protection of the environment, sustainable business management and energy saving have also become an important issue for society. Because thermal drying requires up to ten times more energy compared to purely mechanical water removal, there is particular interest in using drying systems that are as energy-efficient as possible. As particularly in the construction material industry there is heavy pressure on prices at the producers along with high production quantities, energy-efficient design of the drying process is particularly important. With the combined drying and cooling drum system MOZER® TK+, Allgaier has a concept that both effectively



1 Trommelrockner/Kühler für Sande • Dryer drum/cooler for sand

gleichzeitig hohen Produktionsmengen existiert, kommt einer energetisch effizienten Gestaltung des Trocknungsprozesses eine besondere Bedeutung zu. Mit den kombinierten Trocken- und Kühltrommeln System MOZER® TK+ verfügt Allgaier über ein Konzept, welches durch Verdunstungskühlung („Evaporative Cooling“) sowohl den getrockneten Sand effektiv kühlt, als auch eine Brennstoffeinsparung um bis zu 20% bewirkt.

Funktionsprinzipien von Trommelrocknern

In Trommelrocknern (http://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_dryer) wird der Feststoff durch die Drehung der Trommel und durch die Förderwirkung von in der Trommel befindlichen Einbauten bewegt. Hubschaufeln nehmen den feuchten Feststoff vom Grund der Trommel auf und lassen ihn nach dem Heben wieder fallen, wodurch ein Kontakt der heißen Trocknungsluft mit dem feuchten Feststoff entsteht. Einer optimalen Gestaltung der Trommeleinbauten für einen innigen Kontakt des Trocknungsgases mit dem Feuchtgut kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Noch heute lassen sich Anordnung und Form der Einbauten sowie deren nötige Anzahl nicht vollständig berechnen, sondern müssen aus einer Kombination von Erfahrung, Versuchsdurchführung und Berechnung gestaltet werden.

Bei den meisten Anwendungen zur Trocknung wird der Feststoff im Gleichstrom, also in Richtung der Gasströmung gefördert. Herkömmliche Trommelrockner wurden in der Vergangenheit häufig mit einer Neigung in Richtung Feststoffaustrag ausgeführt, um eine Förderwirkung des Feststoffes in der Trommel zu erreichen. Damit verbunden waren erhöhte Aufwendungen zur Positionierung der Trockentrommel während des Betriebes sowie daraus resultierende Verschleißprobleme. Allgaier-Zweizug-Trockner werden waagrecht aufgestellt, um eine Förderung des Feststoffes in der Außenschale entgegen der Förderrichtung im Innenrohr zu ermöglichen. Die Förderung des Feststoffes in waagrecht errichteten Trommelrocknern erfolgt durch sogenannte Leitschaufeln.

Im Trockner entsteht eine Kombination aus Gleichstrom und Kreuzstrom zwischen dem Trocknungsgas und dem Feststoff. Die feuchte Trocknerabluft wird durch einen Abluftventilator aus dem Trockner abgesaugt, über einen Schlauchfilter zur Abseparation der mitgeführten Stäube geführt und über einen

cools the dried sand by means of evaporative cooling and also produces a fuel-saving of up to 20 %.

Principle of operation of drum dryers

In drum dryers (http://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_dryer) the material is moved by the rotation of the drum and by the conveying action of the fittings in the drum. Lifting blades pick up the moist material from the bottom of the drum and allow it to drop again after lifting, as a result the damp material comes into contact with the hot drying air. The optimal design of the drum fittings for the intimate contact of the drying gas with the moist material is particularly important. Even today it is not possible to calculate completely the arrangement and the shape of the fittings or their number, instead a combination of experience, trials and calculation is required for design.

In the majority of applications for drying, the material is conveyed in the same direction as the gas flow. In the past conventional drum dryers were often designed with a gradient in the direction of material discharge to convey the material in the drum. This design resulted in increased effort for positioning the drying drum during operation as well as related wear problems. Allgaier double-shell drums are horizontal so that the material in the outer tube can be conveyed in the opposite direction to the material in the inner tube. The material is conveyed in horizontally erected drying drums by so-called guide blades.

A combination of parallel flow and cross flow between the drying gas and the material is produced in the dryer. The moist waste air is extracted from the dryer by a waste air fan, fed through a bag filter to remove the dust it is carrying and discharged to the environment via a chimney. The waste air pipework for a drum drying plant is of comparatively simple design, as it is only necessary to extract from one point in the dryer housing. Inlet air pipework, as necessary on fluidised or fluid bed dryers, is not normally required, as drum dryers can in many cases be operated with a flame burning directly in the dryer or a combustion chamber can be mounted directly on the dryer housing.

In the construction material industry, throughputs of material to be dried between 20 and 150 metric tonnes per hour are

Kamin in die Umgebung abgegeben. Die Abluftverrohrung einer Trommeltrockneranlage ist vergleichsweise einfach gestaltet, da nur von einem Punkt des Trocknergehäuses abgesaugt werden muss. Auf eine Zuluft-Verrohrung, wie bei Wirbelschicht- bzw. Fließbett-Trocknern notwendig, kann üblicherweise verzichtet werden, da Trommeltrockner in vielen Fällen mit direkt im Trockner brennender Flamme betrieben werden können oder eine Brennkammer direkt am Trocknergehäuse montiert werden kann.

In der Baustoffindustrie sind zu trocknende Feststoffdurchsätze zwischen 20 und 150 t/h üblich. Ein besonderer Vorteil von Trommeltrocknern ist die weitgehende Unempfindlichkeit gegen jahreszeitliche oder produktionsbedingte Schwankungen der Eintrittsfeuchte der zu trocknenden Sande sowie gegen Schwankungen der Durchsatzleistung und der Körnung der Güter oder gegen den Eintrag unerwünschter Klumpen oder Grobstücke.

Trommeltrockner eignen sich sowohl für feine Korngrößen – insbesondere aber auch für grobe und sehr grobe Schüttgüter, wobei bei einem Wechsel der Produkte die Luftmenge nicht zwingend angepasst werden muss. Auch bei einem Ausfall der Trocknungsluft wird der Feststoff im Trommeltrockner durch die Drehung der Trommel zuverlässig gefördert. Diese Eigenschaften führen dazu, dass Trommeltrockner mit großer Zuverlässigkeit betrieben werden können.

Verdunstungskühlung – „Evaporative Cooling“

Nach einer Trocknung schließt sich in vielen Fällen eine Kühlung der durch die Trocknung aufgewärmten Sande an. Die Kühlung ist notwendig, da nachfolgende Verarbeitungsschritte wie Fördern, Sieben, Lagern, Mischen oder Verpacken nur bestimmte maximale Feststofftemperaturen zulassen. Eine Kühlung wird ebenfalls notwendig, wenn in die aufbereitenden Sande temperaturempfindliche Additive, wie z.B. bestimmte Harze für die Herstellung hochwertiger „Ready Mix“-Trockenbaustoffe, eingemischt werden sollen. Nicht zuletzt werden durch die Kühlung mit Umgebungsluft auch Restanteile verbliebener Feuchtigkeit aus dem Zwischenkornvolumen der Feststoffschüttungen ausgetrieben, welche die feuchte Trocknerabluft mit sich trägt. Es erfolgt also eine Art Belüftung der getrockneten Feststoffe, welche die erreichte Feststofffeuchte stabilisiert.

In den meisten Fällen wird die Kühlung der warmen Sande mittels trockener Umgebungsluft ausgeführt. Der Austausch der fühlbaren oder „sensiblen“ Wärme (http://de.wikipedia.org/wiki/Sensible_W%C3%A4rme) zwischen Luft und Feststoff bewirkt die Produktkühlung. Dazu sind recht hohe Luftmengen erforderlich. Da die technologische Ausführung der Kühlung mit Kosten für apparative Aufwendungen sowie mit Energiekosten verbunden ist, sollte nur auf die wirklich nötige Temperatur gekühlt werden. Diese liegt bei Anwendungen in der Baustoffindustrie häufig bei ca. 55 °C bis 60 °C und eher selten bei ca. 40 °C bis 45 °C.

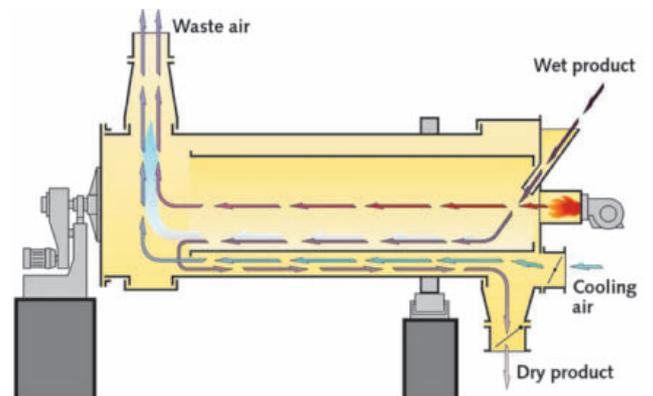
Unter „Evaporative Cooling“ versteht man die Kühlung des Feststoffes unter Nutzung der „latenten“ Wärme (http://de.wikipedia.org/wiki/Latente_W%C3%A4rme), also der Verdampfungs- oder Verdunstungswärme des Wassers. Während

common. A particular advantage of drum dryers is the broad insensitivity to fluctuations in the initial moisture content of the sand to be dried due to the time of year or for production-related reasons, or due to fluctuations in the throughput and the particle size of the material, or due to the addition of undesirable clumps or coarse material.

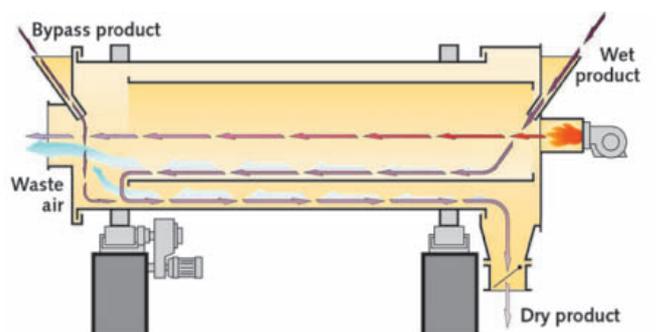
Dryer drums are suitable for both fine particle sizes, and also for coarse or very coarse bulk materials; it is not necessarily imperative to adjust the amount of air on a product change. Even on the failure of the drying air, the material in the dryer drum is reliably transported by the rotation of the drum. These characteristics mean that drum dryers can be operated with high reliability.

Evaporative cooling

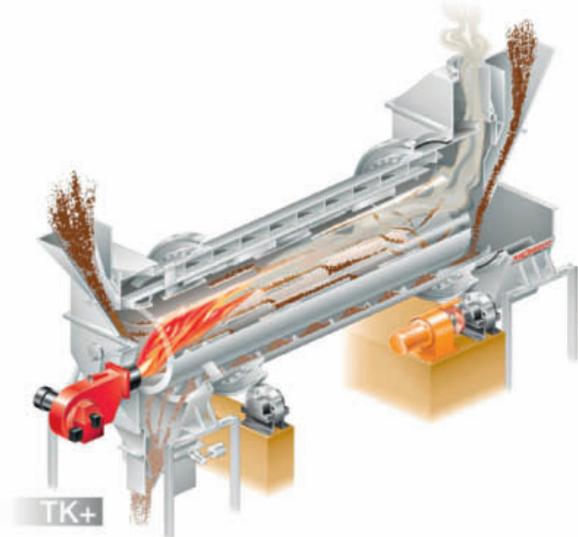
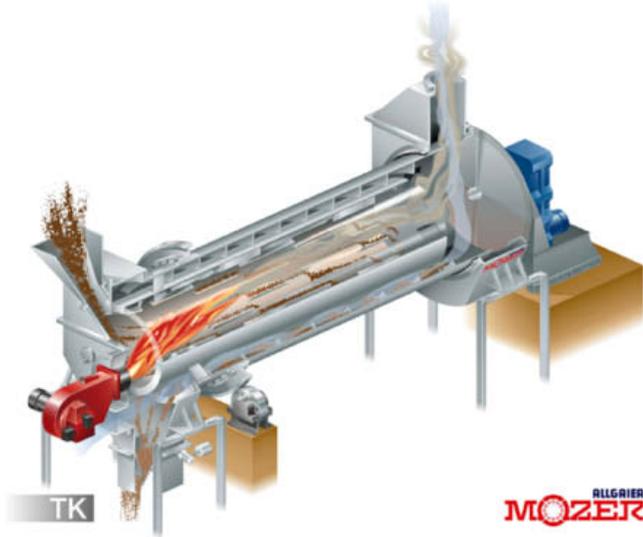
After drying the sand heated by the drying is often cooled. The cooling is necessary, as the subsequent processing steps such as conveying, screening, storing, mixing or packing only permit specific maximum material temperatures. Cooling is also required if temperature-sensitive additives are to be added to the prepared sand, e.g. certain resins for the manufacture of high-quality “ready mix” dry construction materials. Last but not least, residual portions of remaining moisture are removed from the space between the particles in the bulk materials by the cooling with ambient air; this moisture is carried away by the moist dryer exhaust air. The dried materials are therefore subjected to a form of airing which stabilises the moisture content achieved in the material.



2 Allgaier-Trommeltrockner System MOZER® TK mit Luftkühlung
Allgaier drum dryer system MOZER® TK with air cooling



3 Funktionsprinzip eines Allgaier-Trommeltrockners System MOZER® TK+ mit „Evaporative Cooling“ • Principle of operation of an Allgaier drum dryer system MOZER® TK+ with evaporative cooling



4 3D-Schnittdarstellung einer Trocken-Kühltrommel TK mit Luftkühlung und einer TK+ mit Bypass-Zuführung und „Evaporative Cooling“
3D section of a drying-cooling drum TK with air cooling and a TK+ with bypass feed and evaporative cooling

eine bestimmte definierte Restfeuchte im getrockneten Feststoff durch Kontakt mit kalter oder auch leicht vorgewärmter Umgebungsluft getrocknet wird, führt die Wasserverdampfung zu einer Kühlung des Feststoffes. Die Trocknung des Sandes auf die gewünschte Restfeuchte erfolgt dabei unter Verwendung der Produktrestwärme sowie der Wasseraufnahmekapazität der eingebrachten Umgebungsluft. Theoretisch ist eine Kühlung bis auf die sogenannte „Feuchtkugel-Temperatur“ nach dem psychrometrischen Prinzip (<http://de.wikipedia.org/wiki/Psychrometer>) möglich.

Das Verfahren der „Verdunstungskühlung“ hat damit den Vorteil, dass bei der Trocknung sowohl Energie durch die Nutzung der im Feststoff enthaltenen Restwärme gespart wird als auch das Produkt bei diesem Vorgang gekühlt wird. In Fließbett-Trocknern kann man eine Verdunstungskühlung erreichen, indem die Trocknung im ersten Bereich des Trockners so ausgelegt wird, dass diese nicht „zu Ende“ geführt wird, sondern der noch mit einer Restfeuchte beladene Sand in die Kühlzone

In the majority of cases the cooling of the hot sand is undertaken using dry ambient air. The exchange of measurable or “sensible” heat (http://en.wikipedia.org/wiki/Sensible_heat) between air and material produces product cooling. Very high quantities of air are required for this purpose. As the equipment costs and the energy costs are related to the technological design of the cooling, cooling should only be undertaken to the actual temperature required. For applications in the construction material industry this temperature is often approx. 55 °C to 60 °C and less frequently approx. 40 °C to 45 °C.

Evaporative cooling is the cooling of the material using “latent” heat (http://en.wikipedia.org/wiki/Latent_heat), that is the heat of evaporation or vaporisation of the water. While a certain defined residual moisture content in the dried material is dried by contact with cold or slightly pre-heated ambient air, the evaporation of water cools the material. The drying of the sand to the required residual moisture content is undertaken using the residual heat in the product and the water

Vorteile der Systeme im Überblick	Advantages of the systems at a glance
<p>Merkmale Trommeltrocknung allgemein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eignung sowohl für grobe als auch für feine Feststoffe • Unempfindlich auch gegen sehr grobe oder schwere Feststoffe • Geringer Aufwand für die Zuluftausrüstungen durch Direktmontage des Brenners • Unempfindlichkeit gegen <ul style="list-style-type: none"> – Änderungen der Feststoff-Körnung, – Schwankungen der Feuchte und des Durchsatzes, – Ausfall der Trocknungsluft. • Geringer spezifischer Elektroenergiebedarf • Hohe Trocknungslufttemperaturen in Verbindung mit geringen Abwärmeverlusten • Niedriger Heizenergiebedarf auch im Teillastbereich durch Anpassung der Abluftmenge • Einfache Montage und schnelle Inbetriebnahme • Toleranz gegen Fehlbedienungen • Sehr robuste und dickwandige Ausrüstungen mit langer Lebensdauer • Außenaufstellung unter härtesten Bedingungen möglich • Moderater Verschleiß und geringer Ersatzteilbedarf <p>Vorteile der Trockner/Kühler mit Luftkühlung nach dem System MOZER® TK:</p> <ul style="list-style-type: none"> • langjährig bewährte Technologie • Geringer Investitionsbedarf <p>Vorteile der Trockner/Kühler mit „Evaporative Cooling“ nach dem System MOZER® TK+:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Halbierung der Abluftmenge im Vergleich zur Luftkühlung • Halbierung des elektrischen Verbrauchs im Vergleich zur Luftkühlung • Durchschnittlich 15% geringerer Erdgasverbrauch 	<p>General features of drum drying:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suitable for both coarse and fine materials • Also insensitive to very coarse or heavy materials • Low expenditure for the inlet air equipment due to direct burner mounting • Insensitive to <ul style="list-style-type: none"> – Change in the material particle size, – Fluctuations in the moisture content and the throughput, – Failure of the drying air. • Low specific electrical energy requirement • High drying air temperatures in conjunction with low heat losses • Low heating energy requirement also in the partial load area due to adjustment of the amount of waste air • Straightforward installation and quick commissioning • Tolerant of operating errors • Very robust thick-walled equipment with long service life • Can be installed outdoors in harshest conditions • Moderate wear and low spare parts requirement <p>Advantages of dryer/cooler with air cooling based on the MOZER® TK system:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tried-and-tested technology • Low investment requirement <p>Advantages of dryer/cooler with evaporative cooling based on the MOZER® TK+ system:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Halving of the amount of waste air compared to air cooling • Halving of the electrical consumption compared to air cooling • 15 % lower natural gas consumption on average

eintritt, in der dann die Abtrocknung der Restfeuchte und die Kühlung mittels der zugeführten Kühlluft erfolgt. Insbesondere bei Fließbett-Trocknern mit hoher Feststoff-Leistung kann jedoch die Regelung einer solchen Trocknungsanlage sowohl auf die Produktfeuchte vor der Kühlung als auch auf die geforderte Endfeuchte problematisch werden, wenn wegen schwankender Anfangsfeuchten der Sande zu viel Feuchtsand in die Kühlzone „durchbricht“. Eine Einflussnahme auf die geforderte Endfeuchte ist dann nicht mehr möglich.

Vor allem für die Trocknung von Sanden und anderen Mineralien hat sich der Einsatz von Trommeltrocknern speziell im letzten Jahrzehnt wieder durchgesetzt, nicht zuletzt weil die Fa. Allgaier mit ihren modernen und sehr robusten Trommeltrocknern sowie kombinierten Trocken-Kühl-Trommeln eine Möglichkeit sehr robusten Anlagenbetriebes bei gleichzeitig hoher Energieeffizienz geboten hat. Während das Standard-Modell die kombinierte Trocken-Kühl-Trommel System MOZER® TK mit der Methode der Kühlung durch die fühlbare Wärme der Umgebungsluft arbeitet, wird bei dem weiter entwickelten System TK+ (oder „TKplus“) die Methode der Verdunstungskühlung („Evaporative Cooling“) verwendet.

Bei der TK+ wird ein Hauptstrom des feuchten Sandes im inneren Rohr des zweizügigen Trockners/Kühlers getrocknet, während nach der im Innenrohr erfolgten Trocknung der restliche Teilstrom feuchten Sandes geregelt so auf das System aufgegeben wird, dass es zu einer Vermischung des heißen, getrockneten Sandes mit dem kalten, noch nicht getrockneten Sand (dem sogenannten „Bypassgut“) kommt (Bild 3).

Beide Teilströme, das warme, trockene Produkt aus der Innentrommel und das Bypassgut, werden in der Außentrommel durch Hubbleche intensiv durchmischt und gegen einen sehr kleinen Luftstrom kühler Umgebungsluft gefördert. Das im Bypassgut enthaltene Wasser wird dabei verdampft (verdunstet), während gleichzeitig das warme Produkt durch den Effekt des „Evaporative Cooling“ gekühlt wird.

Somit muss für die Trocknung des verringerten Hauptstromes Feuchtsand im Innenrohr des Trockners/Kühlers nur eine proportional geringere Menge Brennstoff (Erdgas, leichtes Heizöl, Flüssiggas) von 80 % bis 90 % eingesetzt werden, während durch den Effekt der Verdunstungskühlung außerdem eine wesentlich verringerte Kühlluftmenge zum Einsatz kommen

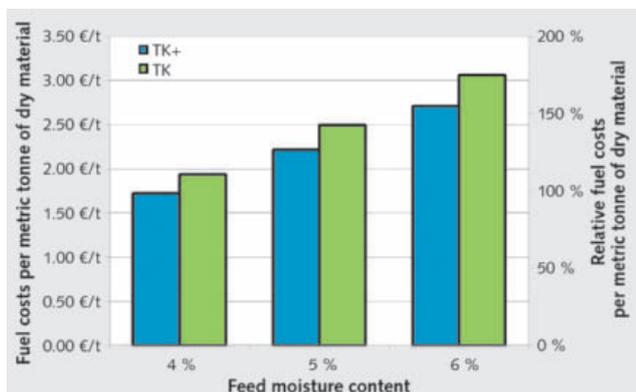
absorption capacity of the ambient air applied. Theoretically cooling to the so-called “wet bulb temperature” in accordance with the psychrometric principle (http://en.wikipedia.org/wiki/Hygrometer#Psychrometers_.28Wet_and_Dry_Bulb_Thermometers.29) is possible.

As a consequence the process of evaporative cooling has the advantage that energy is saved during drying by using the residual heat in the material and the product is also cooled at the same time. Evaporative cooling can be achieved in fluid bed dryers by designing the drying in the initial area of the dryer such that the drying is not “completely finalised”, instead the sand laden with residual moisture enters the cooling zone in which the drying of the residual moisture and the cooling are undertaken using the cooling air introduced. Particularly in fluid bed dryers with a high capacity, however, the control of such a drying plant can become a problem both in relation to the moisture in the product prior to cooling and in relation of the final moisture content, if too much moist sand “breaks through” into the cooling zone due to fluctuating initial moisture content. It is then no longer possible to control the required final moisture content.

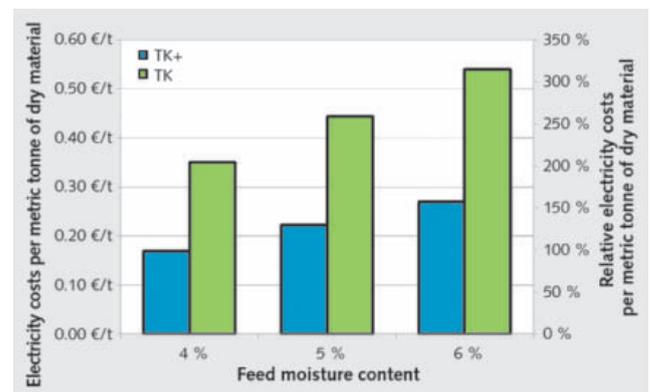
The usage of drum dryers has become established particularly in the last decade above all for drying sand and other minerals, not least because Allgaier has offered the possibility of robust plant operation combined with high energy efficiency in the form of its modern, very robust drum dryers and combined drying-cooling drums. While the standard model, the combined drying-cooling drum system MOZER® TK, uses the sensible heat in the ambient air for cooling, the further developed system TK+ (or “TKplus”) uses the method of evaporative cooling.

On the TK+ a primary flow of moist sand is dried in the inner tube of the two-shell dryer/cooler; after the drying in the inner tube the remaining sub-flow of moist sand is applied to the system in a controlled manner such that the hot, dried sand is mixed with the cold sand that has not yet been dried (the so-called “bypass material”) (Fig. 3).

Both sub-flows, the hot, dry product from the inner drum and the bypass product, are intensively mixed in the outer drum by lifting plates and conveyed against a very small flow of cooler ambient air. During this process the water contained in the bypass material evaporates (turns into vapour), while at the



5 Brennstoffkosten pro Tonne Trockengut
Fuel costs per metric tonne of dry material



6 Stromkosten pro Tonne Trockengut
Electricity costs per metric tonne of dry material

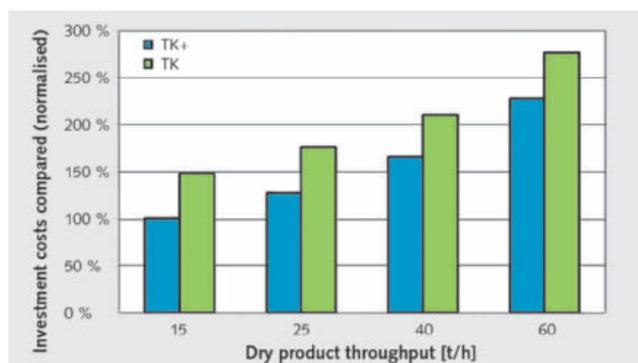
muss. Daraus folgt, dass beim System TK+ deutlich kleinere Abluftventilatoren und Abluft-Filteranlagen erforderlich werden. Neben der Verringerung des Brennstoffbedarfes ergibt sich also auch eine Reduzierung des Elektroenergieverbrauches. Eine Umrüstung des Standardsystems MOZER® TK auf das System TK+ ist übrigens ohne Umbau oder Austausch der vorhandenen Entstaubungsanlage möglich.

Studie bestätigt Energieeinsparung durch Verdunstungskühlung

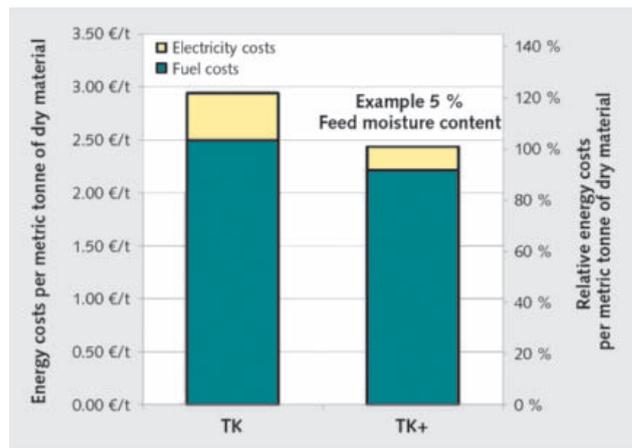
Langjährige Erfahrungen und ausgereifte Berechnungsprogramme ermöglichen es, dass die beschriebenen Effekte voraus berechnet und somit die an Kunden zu liefernden Anlagen zuverlässig ausgelegt werden können. Um dennoch zu prüfen, wie die bisher durch Allgaier ausgelieferten Anlagen in der industriellen Praxis die prognostizierten Energieverbrauchswerte bestätigen, wurde eine intensive Studie an insgesamt elf durch Allgaier gelieferte und teilweise schon langjährig betriebene Anlagen durch Messung aller verfügbaren Prozess- und Verbrauchsparameter durchgeführt. Es wurden sowohl Trockner/Kühler des Systems MOZER® TK als auch Anlagen des System TK+ untersucht.

Vergleichende Betrachtungen der mittels der existierenden Auslegungsprogramme ermittelten Parameter und der an den Anlagen gemessenen Werte haben dabei eine Übereinstimmung in engen Grenzen mit der jeweils ursprünglichen, theoretischen Anlagenauslegung ergeben. Die Studie bestätigte, dass mithilfe von „Evaporative Cooling“ durch Einsatz der Anlagen des Systems TK+ zwischen 10 % und 20 % Brennstoff eingespart werden können. Ebenso ist nahezu eine Halbierung des Stromverbrauchs bei TK+ Anlagen mit Evaporative Cooling, hervorgerufen durch die geringere Abluftmenge, bestätigt worden. **Bild 5** zeigt die unterschiedlichen Brennstoffkosten absolut und relativ der Systeme TK und TK+ bei beispielhaften Sandfeuchten von 4 %, 5 % und 6 %. **Bild 6** zeigt die Stromkosten beider Systeme, resultierend aus den unterschiedlichen Luftmengen. **Bild 7** zeigt für das Beispiel einer Anfangsfeuchte des Sandes von 5 % die gemittelten Gesamt-Energiekosten zur Trocknung von einer Tonne Sand.

Es wird somit deutlich, dass das Einsparpotenzial einer Trocken-Kühl-Trommel des Systems TK+ von der Sandfeuchte abhängig ist. Eine höhere Sandfeuchte erhöht die Vorteile einer TK+. An dieser Stelle sei bemerkt, dass generell versucht werden soll, mit einer möglichst geringen Sandfeuchte in die Trocknung zu gehen. Die Anfangsfeuchte des Sandes lässt sich z.B. durch



8 Investitionskosten im Vergleich (normiert) • Investment costs compared (normalised)



7 Energiekosten pro Tonne Trockengut bei einer Sandfeuchte von 5 % im Vergleich • Energy costs per metric tonne with sand moisture content of 5 % in comparison

same time the hot product is cooled by the effect of evaporative cooling.

In this way only a proportionally smaller amount, 80 % to 90 %, of fuel (natural gas, light heating oil, liquefied petroleum gas) needs to be used to dry the reduced main flow of moist sand, while the quantity of cooling air required is significantly reduced due to the effect of evaporative cooling. The consequence is that on the system TK+ significantly smaller waste air fans and waste filter plants are required. Along with the reduction in the amount of fuel required, there is also a reduction in the consumption of electrical energy. It is also possible to convert the standard MOZER® TK system to the TK+ system without the need to modify or replace the existing dust removal plant.

Study confirms energy saving due to evaporative cooling

Many years of experience and sophisticated calculation programs mean it is possible to calculate in advance the effects described and therefore to be able to dependably design the plants to be delivered to customers. To check, nevertheless, whether the plants supplied up to now by Allgaier confirm the predicted energy consumption figures in industrial practice, an intensive study has been undertaken on a total of eleven plants supplied by Allgaier, which in some cases have been in operation for many years, by measuring all available process and consumption parameters. Both MOZER® TK system dryer/coolers and also TK+ system plants were studied.

Comparative assessments of the parameters determined using the existing design programs and the values measured on the plants have shown close agreement with the original, theoretical plant design. The study confirms that fuel savings of between 10 % and 20 % can be achieved with the aid of evaporative cooling on the usage of the TK+ system plants. It has also been confirmed that the electrical power consumption on TK+ plants with evaporative cooling is almost halved, due to the reduced amounts of waste air. **Fig. 5** shows the different fuel costs in absolute and relative terms on the TK and TK+ systems with example sand moisture contents of 4 %, 5 % and 6 %. **Fig. 6** shows the electricity costs for both systems, resulting from the different amounts of air. **Fig. 7** shows the mean total energy costs for drying one metric tonne of sand

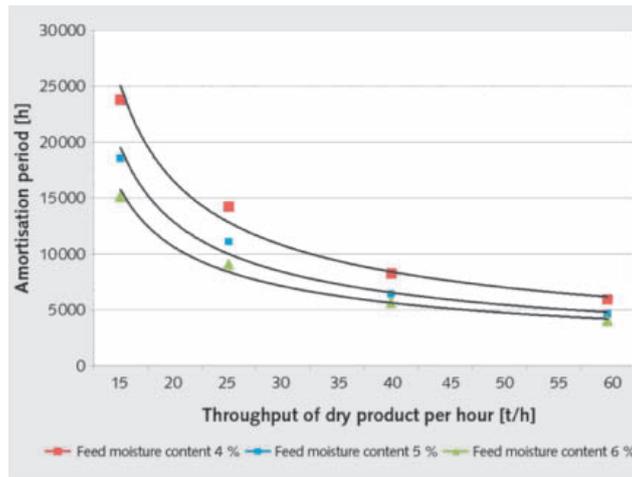
eine Lagerung des Sandes über mehrere Tage für eine natürliche Entwässerung beeinflussen oder durch eine Überdachung der Lagerstätte und einem dadurch realisierten Schutz vor Regen.

Verdunstungskühlung oder Luftkühlung?

Eine Entscheidung, welches der beiden zur Verfügung stehenden Trockner-Kühler-Systeme für eine bestehende Aufgabenstellung optimal ist, muss von Anwendungsfall zu Anwendungsfall von mehreren Faktoren abhängig gemacht werden. Für eine Entscheidung, welches System für den jeweiligen Anwendungsfall das Optimum darstellt, kann eine Amortisationsrechnung dienen. Eine Trocknungsanlage, basierend auf dem System der Trocken-Kühl-Trommel TK+, erfordert einen erhöhten Aufwand für die geregelte Zuführung des Feuchtsand-Hauptmengenstromes und der Dosierung des Bypass-Mengenstromes.

Für diese geregelte Feuchtgutdosierung stehen mehrere technische Varianten zur Verfügung. Es können sowohl aufeinander abgestimmte Becherwerke oder Gurtbandförderer verwendet werden als auch eine Lösung mit einer geregelten Feststoffweiche. Die zusätzlichen Aufwendungen der Feststoffzuführung sowie das ausgereifte elektronische Steuerprogramm und auch die höheren fertigungstechnischen Aufwendungen zur Herstellung der kombinierten Trocken-Kühl-Trommel TK+ führen zu einem etwas höheren Anlagenpreis der Systeme TK+ gegenüber den Standard-Systemen TK.

Allgemein ist bekannt, dass sich Investitionskosten bei zunehmender Anlagengröße degressiv verhalten. Da die Zusatzaufwendungen für die Ausstattungsdetails einer TK+ mit zunehmender Anlagengröße ebenfalls relativ zur Anlagengröße abnehmen, schlagen die Mehrkosten einer Trocken-Kühl-Anlage des Systems TK+ bei größeren Feststoffleistungen eher weniger zu Buche. Bild 8 zeigt die Entwicklung der Anschaffungskosten beider Systeme normiert auf eine Anlage von System TK mit einem Trockengutdurchsatz von 15 t/h. Durch die deutlich geringeren Energiekosten (Brennstoffkosten + Elektroenergie-Kosten) beim Einsatz von „Evaporative Cooling“ können sich die Mehrkosten für die Bypass-Mengenverteilung und die Regelung einer TK+ Anlage bereits nach 5000 bis 8000 Betriebsstunden amortisieren. Je größer die Feststoffleistung der Anlage und je höher die Sandfeuchte, desto kürzer ist die resultierende Amortisationsdauer (Bild 9) der Mehrkosten einer TK+ gegenüber einer TK. Dabei ist zu beachten, dass eine geringe Sandfeuchte die absoluten Investitions- und Energiekosten einer jeden Trocknungsanlage reduziert. Die Amortisationsdauer wurde mit deutschen Energiepreisen aus dem Jahr 2013 berechnet. Steigen die Energiekosten gemäß der allgemeinen Erwartung weiter an, verkürzt sich die Amortisationsdauer zusätzlich. Gerade bei Anlagen mit hohem Durchsatz und hoher Aufgabefeuchte lohnt sich also der Einsatz energiesparender Trocknungstechnologien wie des Systems MOZER® TK+.



9 Amortisationsdauer abhängig vom Trockengutdurchsatz
Amortisation period as a function of the dry material throughput

based on the example of an initial sand moisture content of 5 %.

It therefore becomes clear that the potential savings with a system TK+ drying-cooling drum are dependent on the sand moisture content. A higher sand moisture content increases the advantages of a TK+. At this point it should be noted that in general it should be attempted to start drying with the lowest possible sand moisture content. The initial sand moisture content can be influenced, e.g., by storage of the sand for several days for natural water drainage or by roofing the storage facility and the resulting protection against the rain.

Evaporative cooling or air cooling?

A decision as to which of the available dryer-cooler systems is optimal for a specific task must be made depending on several factors on a case-by-case basis. An amortisation calculation can be used to show which system is optimal for the related application. A drying plant based on the drying-cooling drum TK+ requires greater expenditure for the controlled feed of the main flow of moist sand and dosing the bypass flow.

Several technical variants are available for this controlled moist material dosing. It is possible to use matched bucket conveyors or belt conveyors or a solution with a controlled material gate. The additional expense for the material feed as well as the mature electronic control program and also the higher process-equipment related expenses for the manufacture of the combined drying-cooling drum TK+ result in a somewhat higher plant price for the TK+ systems compared to the standard TK systems.

In general it is known that investment costs diminish with increasing plant size. As the additional expense for the detailed aspects of a TK+ also reduce relative to plant size with increasing plant size, the additional costs for a system TK+ drying-cooling plant have less impact at higher capacities. Fig. 8 shows the procurement costs for both systems normalised to a system TK plant with a dry material throughput of 15 t/h. Due to the significantly lower energy costs (fuel costs + costs for electrical energy) on the usage of evaporative cooling, the additional costs for the bypass flow distribution and the control of TK+ plant can be amortised already after 5000 to 8000 operating hours. The greater the capacity of the plant and the higher the sand moisture content, the shorter the resulting amortisation period (Fig. 9) for the additional costs of a TK+ compared to a TK. Here it is to be noted that a low sand moisture content reduces the absolute investment and energy costs for any drying plant. The amortisation period was calculated using German energy prices from 2013. If energy costs continue to increase as expected, the amortisation period will reduce further. Particularly on plants with high throughput and high initial moisture content it is therefore worthwhile to use energy-saving technologies like that of the MOZER® TK+ system.